

고효율 필터의 용융시 방사성핵종 및 중금속의 거동 모사조건 해석 - HEPA 필터의 열역학적 모델 분석

이석철, 윤인호, 최왕규, 양희철, 이준엽, 이근우
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
chol618@kaeri.re.kr

1. 서론

HEPA 필터는 일반산업체의 폐기물 소각, 용융, 제강 등의 공조시스템과 반도체 제조공정과 의료분야에서 크린 룸(clean-room) 등 산업 전반에 걸쳐 넓게 사용되고 있다. 이들 공정 중에 HEPA 필터는 중금속으로 오염되었고 대부분 지정폐기물로 처리하고 있다. 원자력 연구원 내 연구시설(연구용 원자로, 우라늄 변환시설, 조사후 시험시설, 조사재 시험시설 등)에서 현재까지 발생된 HEPA 필터 폐기물이 발생되어 방사성 폐기물 저장고에 약 1500 드럼이 저장되어 있다. 특히 사용 후 핵연료를 취급하는 DFD/DF (Duplication Fuel Demonstration Facility) 과 조사후 시험 시설의 공정 중 발생된 HEPA 필터는 고방사성 물질로 오염되어 폐기물이 발생하고 있다. 또한 가동 중인 원자력 발전소에서 연간 약 3000 개, 한전 원자력 연료 주식회사(KNF)에서 연간 약 900 개의 폐기물 HEPA 필터가 발생한다. 국내 핵연료 주기 연구개발을 통해 발생하는 폐기물 관리에 대한 효율성 및 안정성을 위해서 HEPA 필터 폐기물 처리기술 개발은 필수적이다. HEPA 필터 폐기물 열적 처리는 저방사성 폐기물에 대해 일부 수행되고 있으나, 국내 기술기반이 매우 취약한 상태이다. 본 논문에서는 HEPA 필터 폐기물의 고온 용융시 HEPA 필터내 핵종 및 중금속의 휘발성 평가 분석하였다.

2. 방법 및 결과

2.1. 열역학적 모델 분석 방법

주요 HEPA 필터의 성분을 XRD 로 분석하였고 성분표를 이용하여 HSC Chemistry 5.11 (Calculation of Equilibrium Composition v 5.1 Copyright Outokumpu Research Oy, Pori, Finland, A. Roine, 1974-2002)을 사용하였다. Table 1에서는 HEPA 필터의 유리섬유의 성분을 분석하였다. SiO₂ 가 55 % 이상 존재하며 Al₂O₃

와 Na₂O, CaO 가 각각 10% 정도 존재하는 것으로 나타났다.

Table 2.1.1. HEPA filter Glass Fiber (wt%).

Chemical composition (wt%)	
SiO ₂	56.7
Al ₂ O ₃	11.6
Na ₂ O	10.1
CaO	9.95
BaO	3.95
K ₂ O	3.06
ZnO	3.02

	mol	Weight(g)
ZnO	0.01537	1.245
PbO	0.00483	1.077
SrO	0.01224	1.273
CrO ₃	0.01308	1.308
Co(NO ₃) ₆ H ₂ O	0.01697	4.939
CsNO ₃	0.00752	1.467

Table 2.1.2. Considered chemical species in the model calculation.

Considered chemical species in the model calculation	
SiO ₂	Si, Si ₃ N ₄ , Si ₂ N ₂ O, SiO ₂
Al ₂ O ₃	Al ₅ CO ₂ , AlN, AlO, Al ₂ O ₃ , Al ₂ SiO ₅
Na ₂ O	Na, NaN ₃ , NaNO ₂ , NaNO ₃ , NaO ₂ , Na ₂ O, Na ₂ O ₂ , Na ₂ SiO ₃
CaO	Ca, CaAl ₂ , CaAl ₂ O ₄ , Ca ₃ N ₂ , Ca(NO ₃) ₂ , CaO, CaO ₂ , CaSi, Ca ₂ Si, CaSiO ₃ , Ca ₃ SiO ₅ , Ca ₃ Si ₂ O ₇ , CaZn, CaZn ₂
CsNO ₃	CsNO ₂ , CsNO ₃ , CsNO ₂ (g), CsNO(g), CsO(g), Cs ₂ O, Cs(g), CsNO ₃ (g)

2.2. 분석

HSC의 그래프 분석 결과 HEPA 필터의 SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO, BaO, K₂O 그리고 ZnO 를 주요 성분으로 공기와 용융시 fig.2.2.1 그래프를 나타냈다. Cs·SiO₂, Cs₂O·Al₂O₅·2SiO₂ 는 실험에 포함시키지 않았다.

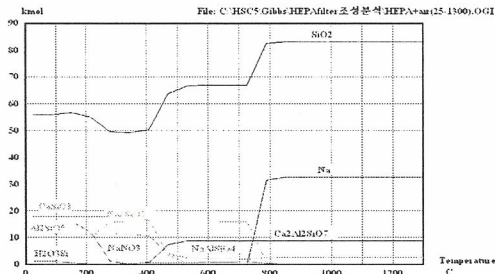


Fig. 2.2.1. HEPA filter & air.

HEPA 필터를 공기중 노출시켜 용융시 주요물 질인 SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO 등 안정된 물질로 남아있었다.

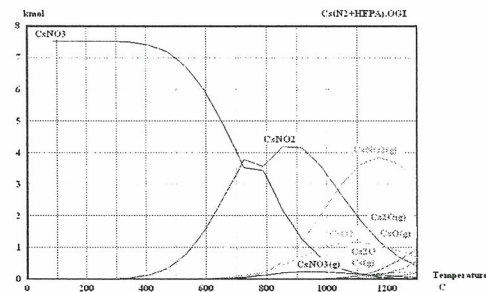


Fig. 2.2.2. $CsNO_3$.

$CsNO_3$ 가 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 급격하게 줄어든다. $CsNO_3(g)$ 와 $Cs(OH)(g)$ 가 발생하여 휘발하기 때문인 것으로 나타났다. $CsNO_3$ 의 경우 휘발을 막기 위한 additive가 필요하다.

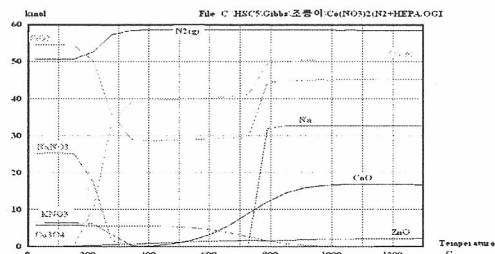


Fig. 2.2.3. $CoNO_3$.

$CoNO_3$ 와 HEPA 필터 용융시 Co_3O_4 가 생성되나 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 전에 사라지며 안정된 물질로 잔류한다.

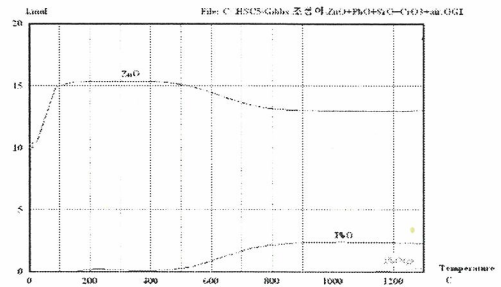


Fig. 2.2.4. ZnO , PbO , SrO , CrO_3

주요 중금속의 공기중 휘발성 모델 실험 결과 PbO 는 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 증가함을 볼 수 있다. 하지만 휘발하지 않기 때문에 HEPA 필터를 용융시 안정한 물질로 남아있을 것으로 추정된다. $1130\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 $PbO(g)$ 가 발생 하는걸 볼 수 있다. HEPA 필터의 용융은 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 미만에서 이루어지기 때문에 별도의 포집장치가 필요치 않다.

3. 결론

- HEPA filter media의 주성분은 유리화에 적합한 물질로 구성되어 있고 용융시 중금속 및 핵종과의 낮은 휘발성을 가지고 있는 것으로 나타났다.
- 주요 중금속 Pb , Zn , Sr , Cr 경우 HEPA 필터 용융시 휘발이 거의 일어나지 않는다. 그러나 방사성핵종 Cs 의 경우 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 휘발하기 시작하기 때문에 휘발을 막기 위한 additive가 필요하다.
- 중금속 및 주요 핵종 휘발 문제를 해결하면 최대 감용/감중 효과를 얻을 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 교육과학기술부의 한국과학기술재단 원자력 연구개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Ji, Y. Y., Hong, D. S., Kang, I. S and Shon, J. S. : Current Status of the Spent Filter Waste and Consideration of Its Treatment Method in KAERI, J. of the Korean Radioactive Waste society, 5(3) 257-266 (2007).